

# کاربرد فناوری نانودر ساخت باتری‌های قابل شارژ

سال انتشار: ۱۳۹۸

ویرایش نخست



## شناسنامه

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

|                |                                                      |                  |                               |
|----------------|------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| طراحی و اجرا:  | توسعه فناوری مهر ویژن                                | تلفن:            | ۰۲۱۶۳۱۰۰                      |
| نظارت:         | داود قزایلو                                          | نمابر:           | ۰۲۱۶۳۱۰۶۳۱۰                   |
| تهیه‌کننده:    | گروه صنعتی کاربردهای فناوری نانو در صنعت برق و انرژی | پایگاه اینترنتی: | www.nano.ir<br>www.indnano.ir |
| پست الکترونیک: | ind@nano.ir                                          | صندوق پستی:      | ۱۴۵۶۵۳۴۴                      |

## فهرست مطالب

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| ۳  | باتری قابل شارژ                                                   |
| ۱۲ | چالش‌های موجود در استفاده از باتری قابل شارژ و کاربرد فناوری نانو |
| ۱۳ | فناوری نانو در باتری قابل شارژ                                    |
| ۱۸ | محصولات صنعتی                                                     |
| ۱۹ | خلاصه مدیریتی                                                     |

## باتری قابل شارژ

### ■ مقدمه

باتری دستگاهی است که در آن طی یک سری فعل و انفعالات شیمیایی، انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. باتری‌ها دارای انواع گوناگونی هستند، در یک دسته‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به دو نوع باتری‌های غیرقابل شارژ (اولیه) و باتری‌های قابل شارژ (ثانویه) تقسیم‌بندی کرد. هدف ما تمرکز روی باتری‌های قابل شارژ (ثانویه) است.

### ■ انواع باتری‌های قابل شارژ (ثانویه)

#### ■ باتری سرب اسید

این باتری، گونه‌ای از باتری‌های قابل شارژ است که در سال ۱۸۹۵ و توسط دانشمندی فرانسوی به نام پلانت<sup>۱</sup> اختراع شده است. باتری‌های سرب اسید یکی از قدیمی‌ترین باتری‌های قابل شارژ در جهان هستند. امروزه باتری‌های اسیدی در صنایع خودرو، ماشین‌آلات سنگین و همچنین سامانه‌های برق پشتیبان<sup>۲</sup>، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. در اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی محققان مشغول پژوهش و توسعه نوعی باتری اسیدی بودند که در هر وضعیتی قابل استفاده و کاربرد باشد. نتایج حاصل کار این محققان دو نوع باتری بود که برگرفته از کاربردشان یکی به نام «باتری اسیدی بدون منفذ» که به اختصار SLA<sup>۳</sup> یا ژل<sup>۴</sup> خوانده می‌شود و دیگری باتری اسیدی مجهز به دریچه تنظیم یا VRLA<sup>۵</sup>. هر دو نوع باتری مذکور به لحاظ فنی شباهت بسیاری به یکدیگر دارند. برخلاف باتری‌های اسیدی شناور، هر دو نوع از باتری‌های SLA و VRLA از طراحی خاصی برخوردار شده‌اند که احتمال افزایش ولتاژ بیش از حد و به دنبال آن ایجاد گاز درون باتری به هنگام شارژ شدن را تا حد چشمگیری کاهش می‌دهد، همچنین در این نوع از باتری‌ها شارژ بیش از حد موجب نشت گاز و مایعات از باتری خواهد شد. از همین رو این باتری‌ها هرگز به میزان تکمیل ظرفیت خود شارژ نمی‌شوند.

از دیگر خصوصیات باتری‌های اسیدی آن است که قرارگیری آن‌ها تحت شارژ برای مدت طولانی مشکلی برای باتری ایجاد نمی‌کند و اثر مخربی بر آن نخواهد داشت و از مناسب‌ترین وضعیت نگهداری شارژ در میان سایر انواع باتری‌های قابل شارژ برخوردار است. با آنکه باتری‌های نیکل-کادمیوم حدود ۴۰ درصد از میزان ذخیره شارژ خود را به طور خودبه‌خود و بدون مصرف در مدت سه ماهه نخست پس از آخرین تاریخ شارژ از دست می‌دهند، این میزان تخلیه انرژی خودبه‌خودی برای باتری‌های اسیدی SLA از دست دادن ۴۰ درصد از میزان انرژی ذخیره‌شده در مدت یک سال پس از آخرین تاریخ شارژ به وقوع می‌پیوندد. از سوی دیگر با آنکه هزینه اولیه خرید باتری‌های اسیدی نسبتاً کم و پایین‌تر از نیکل-کادمیوم‌ها است اما به مرور زمان و طی دوره عمر مفید، هزینه‌های کارکرد باتری SLA فزاینده و به مراتب بیشتر از نیکل-کادمیوم‌ها خواهد بود. از محدودیت‌های باتری‌های اسیدی می‌توان به محدودیت در شارژ سریع اشاره کرد. برای نمونه زمان لازم برای تکمیل شارژ این نوع از باتری‌ها بین ۸ تا ۱۶ ساعت است که زمان بسیار زیادی محسوب می‌شود. از دیگر محدودیت‌های این نوع باتری امکان نگهداری و ذخیره تنها در حالت شارژ شده است. به عبارت دیگر نگهداری و رها کردن باتری بدون شارژ و در حالت تخلیه به سرعت سبب بروز سولفاته شدن باتری خواهد شد. برخلاف باتری‌های نیکل-کادمیوم، باتری‌های اسیدی از ظرفیت بازدهی انرژی کم و محدودی برخوردار هستند

(سرعت تخلیه شارژ بالا) و برای افزایش این قابلیت تنها امکان موجود، استفاده از باتری‌های اسیدی بزرگ‌تر است. همچنین بسته به میزان مصرف و دمای محیط استفاده از باتری، عمر مفید باتری‌های اسیدی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ مرتبه شارژ و مصرف متغیر است و مهم‌ترین عامل مؤثر در کاهش طول عمر مفید این نوع از باتری‌ها، ایجاد خوردگی در شبکه الکتروود مثبت درون باتری، تخلیه مواد فعال و همچنین انبساط صفحات قطب مثبت آن است. این تغییرات با افزایش دمای محیط فعالیت باتری، شدت و فزونی می‌یابند. دمای بهینه برای بهره‌برداری از باتری‌های اسیدی SLA و VRLA به‌طور متوسط حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد (معادل ۷۷ درجه فارنهایت) است، به عنوان یک قاعده کلی افزایش هر ۸ درجه سانتی‌گراد (معادل ۱۵ درجه فارنهایت) به دمای مذکور چیزی در حدود نیمی از عمر مفید باتری را کاهش خواهد داد. به عبارت دیگر باتری نوع VRLA که در درجه متوسط و مطلوب دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور متوسط ۱۰ سال عمر مفید برای آن تخمین زده می‌شود، در صورتی که در دمای متوسط ۳۳ درجه سانتی‌گراد (۹۵ درجه فارنهایت) به کار گرفته شود در بهترین حالت عمر مفید آن چیزی در حدود ۵ سال برآورد می‌شود و همان باتری در صورت استفاده در دمای متوسط ۴۲ درجه سانتی‌گراد (معادل ۱۰۷ درجه فارنهایت) تنها کمی بیش از یک سال عمر مفید خواهد داشت.

از میان باتری‌های قابل شارژ مدرن امروزی، خانواده باتری‌های اسیدی از قابلیت ذخیره انرژی پایین‌تری برخوردار هستند و همین قابلیت کافی است تا آن‌ها را برای به‌کارگیری در تجهیزات سیار و قابل حمل نامناسب جلوه دهد، به علاوه آنکه همان‌طور که پیش‌تر هم اشاره شد عملکرد این نوع از باتری‌ها در دمای بالا بسیار ضعیف است. گذشته از موارد فوق بیشترین مدت زمان مصرف (تخلیه) باتری‌های اسیدی به‌طور متوسط حدود ۵ ساعت است و این در حالی است که برخی دیگر از انواع باتری‌های قابل شارژ زمان مصرفی در حدود ۲۰ ساعت دارند [۱].

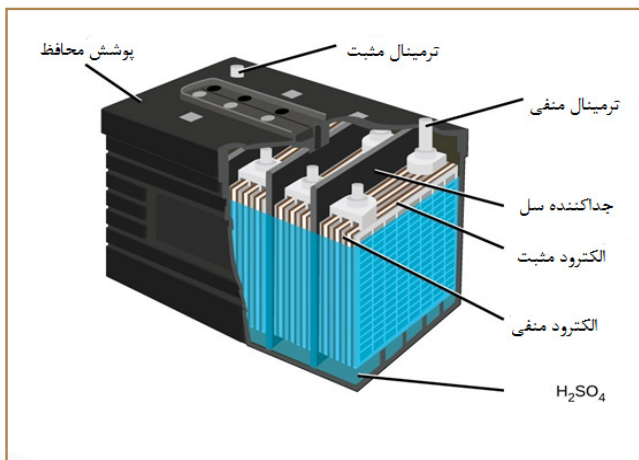
#### مزایای باتری سرب اسید

- تولید آسان و ارزان قیمت
- قابل اعتماد و بادوام در صورت استفاده و نگهداری مناسب
- میزان کم تخلیه خودبه‌خودی (بدون مصرف) انرژی ذخیره‌شده
- کمترین میزان تخلیه خودبه‌خودی در میان انواع باتری‌های قابل شارژ
- نیازمند الزامات و شرایط نگهداری ساده
- نرخ تخلیه انرژی بالا

#### معایب باتری سرب اسید

- عدم امکان نگهداری در حالت تخلیه (بدون شارژ)
- میزان پایین ذخیره انرژی
- محدودیت در تعداد دفعات تخلیه کامل شارژ
- عدم سازگاری با محیط زیست (ترکیبات الکترولیت و اسید سبب بروز آسیب‌های زیست‌محیطی خواهد بود).
- محدودیت‌های حمل و نقل ناشی از نگرانی‌های زیست‌محیطی به دلیل افزایش احتمال نشت اسید و سایر

مواد درونی در هنگام تصادفات و وسایل نقلیه  
 □ افزایش بیش از حد حرارت در صورت شارژ نامناسب



➤ شکل ۱- نمای یک باتری سرب اسید [۲]

### ■ باتری نیکل-کادمیم (Ni-Cd)

این نوع از باتری ها نخستین بار در سال ۱۸۹۹ اختراع شده است. مصرف عمده این نوع باتری در لوازم الکترونیکی است. سلول های نیکل-کادمیم بیشترین و رایج ترین باتری های قابل شارژ در مصارف خانگی را تشکیل می دهند. استفاده از آن ها برای تأمین انرژی مورد نیاز وسایل کوچک و قابل حمل خانگی مانند تلفن های بدون سیم کاربرد های بسیاری دارد. به طور کلی هر سلول اصلی باتری های از یک آند (قطب منفی) کادمیوم، یک کاتد (قطب مثبت) نیکل هیدروکسید و یک ماده آکالاین به عنوان الکترولیت تشکیل شده است. معادله شماره (۱) نشانگر واکنش شیمیایی درون سلول نیکل-کادمیم است. باتری های متشکل از سلول های نیکل-کادمیم معمولاً جریانی متوسط و به بالا را با ولتاژی نسبتاً پایدار و ثابت برای مصرف فراهم می آورند. متأسفانه فناوری تولید باتری های نیکل-کادمیم هنوز نسبتاً گران قیمت و پرهزینه است. از آن گذشته کادمیم فلزی سمی و مضر برای محیط زیست شناخته می شود؛ اما در کنار همه معایب یاد شده، باز یافت بسیاری از اجزای باتری های نیکل-کادمیم به لحاظ اقتصادی کاملاً مقرون به صرفه است، به طوری که در حال حاضر چندین شرکت بزرگ تولید کننده باتری در این زمینه فعالیت می کنند.

معادله (۱):



### ■ مزایای باتری نیکل-کادمیم

□ قابلیت شارژ سریع و آسان حتی بعد از ذخیره طولانی مدت



▲ شکل ۲- یک باتری نیکل-کادمیوم [۳]

- میزان و چرخه بالایی دفعات شارژ و مصرف: به شرط رعایت نکات مربوط به نگهداری مناسب تعداد دفعات قابل شارژ باتری تا ۱۰۰۰ مرتبه نیز افزایش خواهد یافت.
- کارایی بالا: امکان انجام عملیات شارژ باتری در دمای پایین
- قابلیت مناسب نگهداری شارژ در وضعیت آماده‌به‌کار
- نگهداری و جابجایی ساده: بسیاری از شرکت‌های هواپیمایی حمل باتری‌های نیکل-کادمیوم را بدون هیچ محدودیت و شرایط خاصی می‌پذیرند.
- کارایی و عملکرد مطلوب در دمای پایین
- صرفه اقتصادی نیکل کادمیوم: کم هزینه‌ترین باتری قابل شارژ به نسبت طول عمر مفید شناخته می‌شود.
- وجود تنوع و طیف گسترده‌ای از این نوع باتری به لحاظ ابعاد و کاربری‌های متفاوت در بازار.

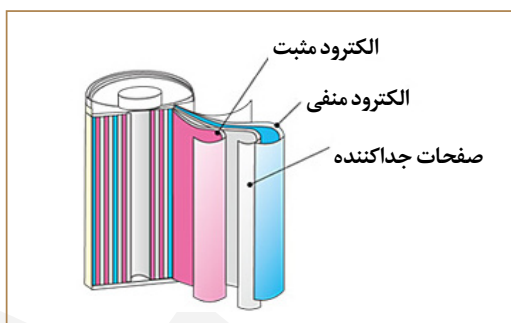
#### معایب باتری نیکل-کادمیم

- میزان تراکم ذخیره انرژی نسبتاً پایین (در مقایسه با انواع جدیدتر)
- الزام در شارژ و مصرف مستمر و مداوم جهت نگهداری مناسب باتری
- مضر برای محیط زیست: حاوی فلزات سمی، چنانچه برخی کشورها استفاده از این نوع از باتری‌ها را با وضع مقررات خاصی محدود کرده‌اند.
- میزان بالایی تخلیه خودبه‌خودی انرژی شارژ به نحوی که پس از ذخیره طولانی مدت و بدون استفاده، باتری مجدداً نیازمند شارژ شدن است.

#### ■ باتری نیکل-هیدرید فلزی (NI-MH)

این سلول اولین بار در سال ۱۹۸۹ اختراع شده و گونه‌ای از باتری‌های قابل شارژ است که شباهت زیادی به باتری‌های نیکل-کادمیم دارند. در این باتری‌ها الکتروود مثبت از جنس نیکل اکسی هیدروکسید و الکتروود منفی از جنس آلایژ جذب‌کننده هیدروژن استفاده شده است. این نوع باتری نسبت به نیکل-کادمیم ۲ تا ۳ برابر ظرفیت بیشتری دارد. طراحان و تولیدکنندگان باتری تحقیقات بسیاری را صرف استفاده و جایگزین کردن مواد جدیدی به جای کادمیم و به منظور ارائه سطح بالایی از انرژی و قابلیت شارژ و استفاده مجدد در کنار هزینه‌ای به مراتب پایین‌تر کرده‌اند. باتری‌های NI-MH یکی از این نوع باتری‌های جایگزین به شمار می‌روند.

آند یا قطب منفی باتری های NI-MH از آلیاژهای فلزی جاذب هیدروژن و کاتد یا قطب مثبت نیز از اکسید نیکل تشکیل شده است. همچنین ماده الکترولیت به کار رفته درون این نوع از باتری ها را هیدروکسید پتاسیم تشکیل می دهد. مطابق اطلاعات ارائه شده از سوی تولیدکنندگان باتری های نوع NI-MH، ظرفیت ذخیره انرژی و طول عمر مصرف این نوع باتری ها حدود ۴۰ درصد بیشتر از انواع مشابه و هم اندازه از نوع نیکل-کادمیوم است و از سوی دیگر چرخه عمر مفید باتری های NI-MH نیز حدود ۶۰۰ مرتبه شارژ-مصرف عنوان شده است. این خصوصیات باتری های NI-MH را برای کاربردهایی که در آن ها سطح بالایی از انرژی مورد نیاز است (مانند استفاده در لپ تاپ، تلفن های همراه و یا دوربین های فیلم برداری) مناسب جلوه می دهد؛ اما در عین حال قیمت این نوع باتری نیز نسبتاً گران بوده و میزان تخلیه شارژ خود به خودی (بدون مصرف) بالایی دارد.



شکل ۳- شماتیک یک باتری نیکل-هیدرید فلزی [۴]

#### مزایای باتری نیکل-هیدرید فلزی

- حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد ظرفیت ذخیره انرژی بیشتر نسبت به انواع نیکل کادمیوم مشابه
- شرایط آسان تر نگهداری به لحاظ فواصل میان دفعات شارژ و استفاده (تخلیه)
- حمل و نقل و نگهداری آسان
- سازگاری بیشتر زیست محیطی؛ حاوی مواد سمی کمتر و قابلیت بازیافت بهتر

#### معایب باتری نیکل-هیدرید فلزی

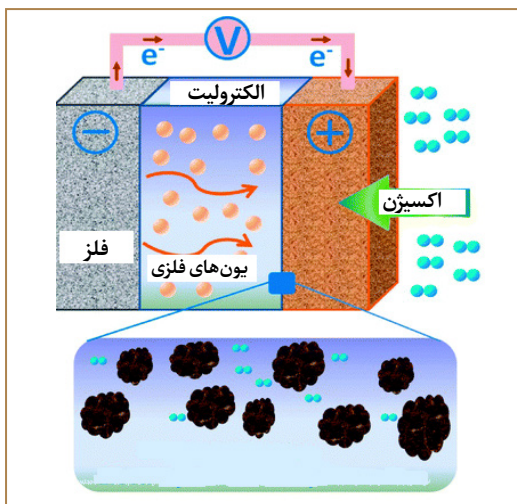
- دوره کوتاه تر عمر مفید؛ هنگام استفاده در شرایط سخت کاری (جریان شدید الکتریسته و یا کاربری در دمای بالا) دوران افت و تنزل کارایی باتری پس از ۲۰۰ تا ۳۰۰ مرتبه شارژ به طور چشم گیری بروز می یابد.
- ارائه جریان مصرف (تخلیه) کمتر؛ اگرچه باتری های نیکل-هیدرید فلزی از ظرفیت لازم برای ارائه جریان بالای الکتریکی برخوردار هستند اما تداوم و استمرار استفاده آن ها در مصارف نیازمند تخلیه با جریان های بالا سبب کاهش طول عمر مفید باتری می شود.
- نیازمند الگوریتم شارژ پیچیده تر؛ باتری های نیکل-هیدرید فلزی هنگام شارژ بیشتر از انواع نیکل-کادمیوم گرما و حرارت تولید می کنند و نیازمند مدت زمان طولانی تری برای تکمیل شارژ هستند.

- میزان بالای تخلیه خودبه‌خودی انرژی: تخلیه خودبه‌خود (بدون مصرف و در حالت آماده‌به‌کار) برای باتری‌های نیکل-هیدرید فلزی به میزان ۵۰ درصد بیشتر از باتری‌های نیکل-کادمیوم است.
- افت و کاهش کارایی در دمای پایین: نگهداری و استفاده از باتری‌های نیکل-هیدرید فلزی در دمای پایین می‌تواند به میزان ۴۰ درصد از عمر مفید آن بکاهد.
- نیازمند نگهداری و مراقبت دقیق: باتری‌های نیکل-هیدرید فلزی به‌طور خاصی به‌منظور جلوگیری از تشکیل کریستال (سولفاته‌شدن) نیازمند نگهداری و رعایت دقیق فرایند و چرخه شارژ و مصرف (تخلیه) هستند.
- حدود ۲۰ درصد قیمت بالاتر نسبت به انواع مشابه نیکل کادمیوم

#### ■ باتری هوا-فلز

یکی از کاربردی‌ترین روش‌های دستیابی به ظرفیت تراکم ذخیره انرژی بالا استفاده از اکسیژن موجود در هوا به‌عنوان کاتد (قطب مثبت) و بهره‌گیری از فلزی همچون روی و یا آلومینیوم به‌عنوان الکترود آند (قطب منفی) در سلول است. در چنین سلولی سهم کاتد اکسیژن در مقابل آند موجود ناگزیر کاهش می‌یابد اما با بهره‌گیری از یک کاتد گازی سهم بیشتری از فضای هر سلول در اختیار آند و ماده الکترولیت قرار خواهد گرفت و در نتیجه با کاهش ابعاد و اندازه سلول، همچنان انرژی خروجی از آن در سطحی بالا باقی خواهد ماند [۵]. برخی از سلول‌های هوا-فلز برای کاربردهایی همچون استفاده در وسایل کمک‌شنوایی (سمعک‌ها)، ساعت‌های مچی و تجهیزات استراق سمع مخفی به کار برده می‌شوند.

سلول‌های هوا-فلز دارای برخی معایب فنی نیز هستند. برای نمونه ساخت و تولید سلول‌هایی که درون آن‌ها الکترود کاتد به‌طور کامل و در یک محیط نفوذناپذیر از سوی الکترود منفی (آند) در بر گرفته شده است، مشکل



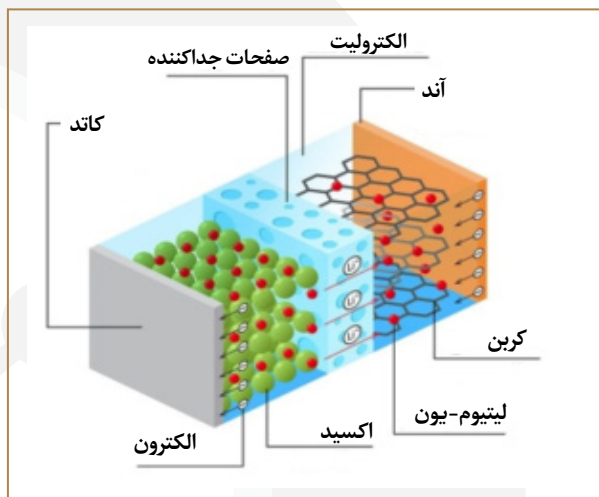
شکل ۴- شماتیک باتری هوا-فلز [۵]

است. همچنین مادامی که ماده الکترولیت در تماس مستقیم با هوا است، تقریباً بعد از گذشت یک تا سه ماه پس از شروع فعالیت باتری (تولید)، الکترولیت رفته رفته به گونه ای خشک می شود که ادامه فرایند واکنش شیمیایی برای آن میسر نخواهد بود. برای جلوگیری از بروز این مسئله و خشکی زودرس ماده الکترولیت درون سلول، کارخانه تولیدکننده هنگام ساخت، صفحه یا ضامن خاصی را درون باتری تعبیه می کند که می بایست پیش از اولین مرتبه استفاده از سوی مشتری از باتری و درون آن با کشیدن ضامن مربوطه، جدا و خارج شود.

### ■ باتری لیتیوم-یون (Li-Ion)

یک خانواده از باتری های قابل شارژ هستند که هنگام تخلیه (دشارژ) آن ها یون های لیتیوم از الکتروود مثبت به سمت الکتروود منفی حرکت می کنند. باتری های لیتیوم-یون بالاترین چگالی انرژی را فراهم می سازند. باتری لیتیومی نسبت به سایر باتری ها دارای ویژگی های ممتاز بسیاری است. همین امر باعث گسترش کاربرد این باتری و جایگزینی آن با سایر باتری های قبلی در صنایع مختلف شده است. لیتیوم به عنوان سبک ترین و یکی از فعال ترین فلزات جدول عناصر با دارا بودن الکتروپوزیتیویته بالا یکی از مناسب ترین فلزات به کار برده شده در پیل های الکتروشیمیایی است.

باتری لیتیوم-پلیمر در واقع نوعی باتری لیتیوم-یون پیشرفته است. این باتری از نظر ساختار بسیار شبیه به باتری لیتیوم-یون است البته با برخی تفاوت ها در ویژگی های ساختاری که موجب افزایش بهره وری باتری می شود. به طور مثال وقتی که یک باتری لیتیوم-پلیمر به طور کامل شارژ می شود خطر انفجار آن وجود ندارد. این ویژگی از نظر ایمنی بسیار حائز اهمیت است. در این نوع باتری ها در اصل از یک ماده پلاستیکی آند و الکترولیت بر پایه الکترولیت جامد استفاده می شود. فناوری تولید باتری های لیتیوم-پلیمر همواره در حال



➤ شکل ۵- شماتیک باتری لیتیوم-یون [۷]

پیشرفت و بهبود است، به طوری که در حال حاضر محققان از الکترولیتی به شکل ژل و جداکننده در این نوع باتری‌ها استفاده می‌کنند که اطلاعات ویژگی‌های آن در حال انتشار است [۶].

#### مزایای باتری لیتیوم-یون

- دانسیته انرژی بالا
- دارا بودن بالاترین پتانسیل الکتروشیمیایی
- تخلیه خودبه خودی پایین
- نگهداری و حفاظت آسان
- نداشتن اثر حافظه
- عدم نیاز به شارژ کامل
- وزن کم
- عدم وابستگی شدید طول عمر به تعداد دفعات شارژ
- گستره دمایی خوب
- تحمل دمایی بالا تا ۶۰ درجه و آسیب ندیدن ظرفیت باتری در این دما
- امکان ساخته شدن در شکل فیزیکی ظریف و نازک
- دامنه ولتاژ مناسب برای پردازنده‌های نسل جدید



#### معایب باتری لیتیوم-یون

- تأثیرپذیری شدید و کاهش ظرفیت باتری و خراب شدن آن در صورت افزایش یا کاهش ولتاژ آن از محدوده نرمال. اگر ولتاژ باتری به کمتر از ۴/۲ ولت برسد می‌تواند باعث اکسید شدن الکترودهای آن شده و در اثر واکنش شیمیایی داخلی کل ظرفیت یا بیشترش را از دست بدهد.
- افزایش ولتاژ باتری (به بیش از ۴/۳ ولت) یا جریان دادن به یک باتری کاملاً پر هم می‌تواند باعث خوردگی الکترودهای آن شده و همه ظرفیت باتری را از بین ببرد.
- مقاومست داخلی بالا؛ مقاومست داخلی باتری‌های لیتیومی بیشتر از باتری‌های نیکلی است، علاوه بر محدود شدن جریان خروجی در صورت اتصال کوتاه باعث داغ شدن باتری و انفجار آن خواهد شد.
- طول عمر پایین برای کاربردهای خودرو برقی
- ایجاد دماهای زیاد در حد ذوب فلزات در صورت اشتعال و انفجار (لیتیوم-یون)
- قیمت بالا نسبت به سایر باتری‌ها

#### ■ مقایسه باتری‌های قابل شارژ (ثانویه)

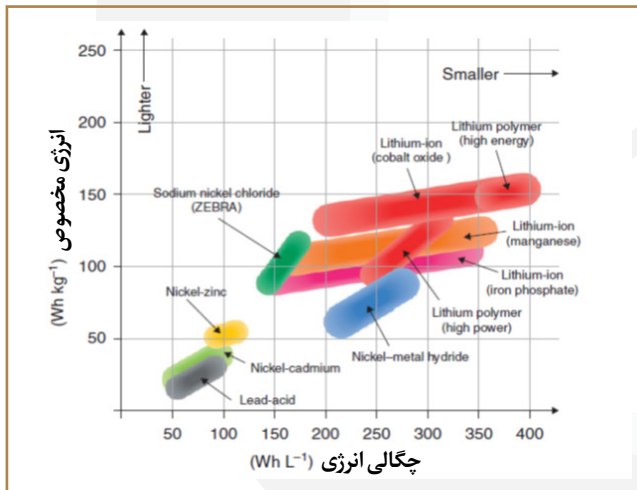
جدول ۱ مقایسه بین ویژگی‌های باتری‌های قابل شارژ متداول را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه خصوصیات فنی انواع باتری قابل شارژ [۸]

| Li-ion polymer       | Li-ion                 | Lead Acid             | NiMH                  | NiCd                 | Alkaline             |                                                                                   |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۴۰-۱۰۰              | ۱۶۰-۱۱۰                | ۵۰-۳۰                 | ۱۲۰-۶۰                | ۸۰-۴۵                | ۸۰                   | میزان تراکم انرژی (بر حسب Wh/kg)                                                  |
| ۳۰۰-۵۲۰ <sup>۱</sup> | ۲۵۰-۵۱۵ <sup>۱</sup>   | <۱۰۰ <sup>۱</sup>     | ۳۰۰-۵۲۰ <sup>۱</sup>  | ۲۰۰-۵۱۰ <sup>۱</sup> | ۲۰۰-۵۲۰ <sup>۱</sup> | مقاومت داخلی (بر حسب میلی وات)                                                    |
| ۷.۲V                 | ۷.۲V                   | ۱۲V                   | ۰.۷                   | ۰.۷                  | ۰.۷                  |                                                                                   |
| ۵۰۰-۵۳۰۰             | ۱۰۰۰-۵۵۰۰ <sup>۲</sup> | ۳۰۰-۵۲۰۰ <sup>۲</sup> | ۵۰۰-۵۳۰۰ <sup>۲</sup> | ۱۵۰۰ <sup>۲</sup>    | -                    | چرخه عمر مفید (افت ظرفیت تا ۸۰ درصد ظرفیت اولیه) بر حسب تعداد دفعات شارژ مجدد     |
| ۴۵۲                  | ۴۵۲                    | ۱۳۵A                  | ۴۵۲                   | حدود ۱               | -                    | مدت زمان تکمیل شارژ در وضعیت سریع (ساعت)                                          |
| کم                   | خیلی کم                | زیاد                  | کم                    | متوسط                | -                    | دامنه ی مجاز شارژ پیش از جد                                                       |
| حدود ۱۰٪             | ۱-۵٪                   | ۵٪                    | ۳-۴٪                  | ۲-۴٪                 | ۰.۳٪                 | میزان تخلیه خود به خودی در ماه (در شرایط دمایی اتاق)                              |
| ۳.۶V                 | ۳.۶V                   | ۲V                    | ۱.۲۵V <sup>۶</sup>    | ۱.۲۵V <sup>۶</sup>   | ۱.۵V                 | ولتاژ هر سلول                                                                     |
| ۲C                   | ۲C                     | ۵C <sup>۲</sup>       | ۵C                    | ۲۰C                  | ۰.۵C                 | میزان بار جریان                                                                   |
| کمتر یا ۱C           | کمتر یا ۱C             | ۰.۲C                  | کمتر یا ۵C            | ۱C                   | کمتر یا ۰.۲C         | عمر                                                                               |
| ۶۰-۵۰°C              | ۶۰-۲۰°C                | ۶۰-۵۰°C               | ۶۰-۲۰°C               | ۶۰-۴۰°C              | ۶۰-۵۰°C              | بازه ی دمای فعالیت <sup>۸</sup>                                                   |
| ندارد                | ندارد                  | ۶۵۳ <sup>۱</sup> ماه  | ۹۰ روز                | ۶۰ روز               | ندارد                | اثرات نگهداری                                                                     |
| ۱۰۰ (7.2V)           | ۱۰۰ (7.2V)             | ۲۵ (6V)               | ۶۰ (7.2V)             | ۵۰ (7.2V)            | ۵ (9V)               | قیمت باتری (بر حسب متوسط قیمت جهانی و بر حسب دلار آمریکا) <sup>۱۰</sup>           |
| ۰.۴۹                 | ۰.۱۴                   | ۰.۱                   | ۰.۱۴                  | ۰.۰۴                 | ۰.۱۵-۰.۱             | نسبت هزینه به طول عمر مفید (بر حسب قیمت جهانی و بر حسب دلار آمریکا) <sup>۱۱</sup> |
| ۱۹۹۹                 | ۱۹۹۱                   | ۱۹۷۰                  | ۱۹۹۰                  | ۱۹۵۰                 | ۱۹۹۲                 | سال شروع کاربری تجاری                                                             |

- ۱- مقاومت داخلی باتری ها عاملی است که به موارد متعددی همچون نوع سلول ها، تعداد سلول ها و نوع مدار محافظ بستگی دارد. مدار محافظ در باتری های Li-ion polymer و Li-ion حدود ۱۰۰ میلی وات (هر میلی وات برابر یک هزارم یک وات است) به مقادیر جدول می افزاید.
- ۲- طول عمر باتری به میزان زیادی بستگی به نحوه نگهداری مناسب باتری و شارژ منظم آن دارد. به عبارت دیگر عدم رعایت مساله شارژ و تخلیه کامل شارژ باتری تا حدود زیادی بر کاهش طول عمر مفید باتری تأثیر گذار است.
- ۳- طول عمر باتری به تخلیه کامل شارژ در هر مرتبه استفاده بستگی دارد.
- ۴- بالاترین میزان تخلیه شارژ خود به خود (بدون استفاده از باتری و یا گذشت زمان) بلافاصله بعد از شارژ باتری به وقوع می پیوندد. باتری نوع NiCd حدود ۱۰ درصد از شارژ خود را در ۲۴ ساعت اول بعد از شارژ شدن از دست می دهد و سپس با گذشت هر ۳۰ روز حدود ۱۰ درصد دیگر از میزان انرژی ذخیره شده در آن کاسته می شود. ضمناً کاهش و افت خود به خودی انرژی ذخیره شده با افزایش دمای محیط نگهداری باتری ها رابطه ی مستقیم دارد.
- ۵- مدار محافظ داخلی به طور معمول حدود ۳ درصد از میزان انرژی ذخیره شده در باتری در هر ماه را مصرف (تخلیه) می کند.
- ۶- باتری های ولتاژ ۱.۲ و ۱.۲۵ تفاوت بسیار ناچیزی دارند.
- ۷- ظرفیتی بالا برای پالس های جریان.
- ۸- فقط به هنگام مصرف (تخلیه)، بازه ی دمای شارژ شدن باتری، از محدودیت بیشتری برخوردار است.
- ۹- نگهداری مناسب معمولاً به شکل شارژ یکتواخت، کامل و منظم است.
- ۱۰- هزینه باتری برای لوازم الکترونیکی قابل حمل.
- ۱۱- حاصل تقسیم هزینه ی باتری بر طول عمر مفید آن بدون در نظر گرفتن هزینه برقی جهت شارژ و قیمت دستگاه شارژ.

در شکل ۶ مقایسه دانسیته انرژی انواع باتری های قابل شارژ نمایش داده شده است. مشخص است که در میان این باتری ها، باتری لیتیومی بیشترین دانسیته انرژی را دارد.



شکل ۶- دانسیته انرژی انواع باتری قابل شارژ [۹]

### چالش های موجود در استفاده از باتری قابل شارژ و کاربرد فناوری نانو

باتری ها در ابعاد و اشکال مختلفی تولید و عرضه می شوند و هیچ نوع از آن ها به صورت کلی برای همه ی کاربردهای مورد نظر، مناسب استفاده نیستند، از سوی دیگر انرژی قابل ارائه توسط باتری ها رابطه ای مستقیم با اندازه باتری و مواد (ترکیبات) به کار گرفته شده در آن دارد، حتی باتری هایی از یک نوع و دارای ابعاد همسان و مواد متشکله یکسان که از سوی کارخانه های مختلف تولید شده اند نیز تا حدودی متفاوت از هم هستند. براین اساس در ادامه برخی از چالش های موجود در استفاده از باتری قابل شارژ را به طور خلاصه مطرح می شود.

#### ■ عمر باتری قابل شارژ

برای باتری های نوع دوم (قابل شارژ) محدوده عمر مفیدی در نظر گرفته می شود که پس از انقضای این مدت باتری خصوصیات خود را از دست می دهد و رفته رفته غیر قابل استفاده می شود. معمولاً (به طور متوسط) طول عمر باتری های قابل شارژ را به شرط رعایت الزامات و شرایط نگهداری آن ها حدود ۳ سال و یا کمتر در نظر می گیرند. با نزدیک شدن به پایان عمر باتری های قابل شارژ علائم و نشانه هایی از جمله نیاز به شارژ به صورت متعدد و متوالی، کاهش مدت زمان میان دفعات شارژ، کاهش طول فرایند شارژ (شارژ باتری سریع تر از زمان لازم تکمیل می شود) و در نهایت تخلیه ناگهانی و در مدت زمان بسیار کوتاهی طی فرایند مصرف، بروز می نماید که بیانگر اتمام طول عمر مفید باتری قابل شارژ و نیاز به تعویض آن است. با کمک فناوری نانو می توان تعداد سیکل های کاری (شارژ و دشارژ) باتری را افزایش داد و عمر کاربرد باتری را بهبود بخشید. یکی از اصلی ترین معایب باتری های قابل شارژ، اثرات کارایی است. کربن های گرافیتی مورد استفاده در باتری های قابل شارژ پس از مدتی پوسته پوسته می شوند و سپس باتری به کلی از کار می افتد. با بازطراحی آند و ایجاد تغییرات نانویی در ساختار آن ها، باعث افزایش عمر باتری می شود [۱۰].

## ■ بازه دمایی کاربری باتری قابل شارژ

اگر در شرایط نامتعادل دمایی (دمای بسیار بالا و یا بسیار پایین) قصد استفاده از باتری‌ها را دارید بهتر است به بازه دمایی باتری مورد نظر پیش از استفاده از آن توجه کنید. دامنه دمایی کاری باتری حداکثر بین ۲۰- تا ۶۰+ درجه سانتی‌گراد است. دمای کاری بسیار پایین یا بالا یک چالش برای باتری محسوب می‌شود و روی عملکرد و عمر باتری تأثیر مستقیم دارد. به طور مثال: نگهداری و استفاده از باتری‌های نیکل-هیدرید فلزی در دمای پایین می‌تواند به میزان ۴۰ درصد از کارایی آن بکاهد و یا افزایش هر ۸ درجه سانتی‌گراد (معادل ۱۵ درجه فارنهایت) به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (معادل ۷۷ درجه فارنهایت) چیزی در حدود نیمی از عمر مفید باتری سرب اسید را کاهش خواهد داد. لذا در صورت الزام به کارگیری باتری در دمای پایین می‌توان از نانو عایق به عنوان محافظ جانبی باتری بهره گرفت که جلوی کاهش دمای باتری در محیط سرد را بگیرد. همچنین می‌توان از نانومواد تغییر فاز دهنده به عنوان پوشش جانبی باتری استفاده کرد که در مواقعی که دمای باتری بالا می‌رود به نوعی یک منبع جذب گرما بشوند و جلوی افزایش دمای بیش از حد باتری را بگیرند. همچنین ایجاد تغییرات نانویی در ساختار باتری‌ها باعث افزایش گستره دمایی کارکرد باتری شده و عملکرد آن را ارتقا می‌بخشد [۱۰].

## ■ هزینه باتری قابل شارژ

هزینه باتری شامل یک هزینه اولیه و یک هزینه سالیانه است. هزینه اولیه ثابت است که برای خرید اولیه باتری‌ها لازم است. هزینه دیگر مربوط به هزینه‌های تعمیر و نگهداری مجموع باتری است که سالیانه در نظر گرفته می‌شود. عملکرد و عمر باتری پارامتر مهمی است که در هزینه‌های سالیانه تأثیرگذار است و اگر عمر باتری کمتر از ۳ سال باشد، این هزینه افزایش می‌یابد و موجب گران‌تر شدن سیستم می‌شود. باتری‌های قابل شارژ شامل دو الکترود بنام‌های آند و کاتد هستند که وظیفه انتقال یون‌ها از طریق الکترولیت است. این الکترودها ورقه‌های نازکی هستند که با مواد پودری پوشش داده شده‌اند که در طول شارژ شدن و تحویل انرژی یون‌ها را ذخیره و آزاد می‌کنند. آند اغلب از گرافیت و در کاتد از فلزات دیگر (مانند کبالت، منگنز، نیکل، آلومینیوم یا آهن که می‌تواند به شکل اکسید، فسفات، سیلیکات باشد) ساخته شده است. تولید باتری‌هایی با استفاده از مواد کاتدی و مقرون به صرفه نانو ساختار می‌تواند قیمت باتری‌های قابل شارژ را کاهش دهد. با کمک فناوری نانو می‌توان تعداد سیکل کاری شارژ و دشارژ باتری قابل شارژ را افزایش داد و عمر کارکرد باتری را بهبود بخشید و هزینه سالیانه و در نتیجه هزینه کل مجموعه باتری را کاهش داد. همچنین استفاده از نانومواد ارزان قیمت در اجزای اصلی یک باتری که شامل آند و کاتد و الکترولیت هستند، سبب افزایش کارایی و طول عمر باتری می‌شود.

## ■ فناوری نانو در باتری قابل شارژ

باتری یک منبع تولید انرژی الکتروشیمیایی است که انرژی آزاد شده از یک واکنش شیمیایی را مستقیماً به جریان الکتریسته تبدیل می‌کنند. باتری‌ها دو نقش عمده را برای ما ایفا می‌کنند اول اینکه به عنوان یک منبع قابل الکتریکی عمل می‌کنند. نقش دوم که روند روبه رشدی طی سال‌های آتی خواهد داشت، استفاده از باتری‌ها به عنوان منبع ذخیره انرژی از یک منبع خارجی است. به عنوان مثال این نوع باتری‌ها به عنوان منبع انرژی وسایل نقلیه الکتریکی، منبع برق اضطراری، منبع مناسب برای بازه‌های اوج مصرف برق و منبع متصل به روش‌های جدید

تولید جریان الکتریکی خواهد بود. بازار باتری ها (به خصوص باتری های قابل شارژ) در حال گسترش است. این باتری برای مصارف گوناگون از قبیل تلفن های همراه، کنترل های از راه دور در نظر گرفته می شوند. این باتری ها کوچک، سبک و مطابق با استانداردهای محیط زیست هستند. آن ها ولتاژهای بالایی را تأمین کرده و تا ۱۰۰۰ مرتبه قابل شارژ مجدد هستند. ابتدا این باتری ها ساختار اسیدی سربی داشتند که کم کم به سمت ساختار نیکل کادمیوم کشیده شدند.

تأثیر کوتاه مدت عمده فناوری نانو بر فناوری باتری، از به کارگیری نانوذرات حاصل خواهد شد. آن ها بدون تأثیرگذاری فوق العاده بر ظرفیت کل، سرعت شارژ و تخلیه را بهبود می بخشند. باین حال تحقیقات انجام شده روی استفاده از نانولوله ها به جای گرافیت در الکترودها بیانگر توانایی آن ها در دوربرکردن ظرفیت باتری (و حتی بیشتر) است. به طور کلی دو نوع باتری قابل شارژ هستند که از فناوری نانو در ساختار آن ها استفاده شده است و بیشتر تحقیقات نیز بر روی این دو گروه انجام شده است. نوع اول باتری های بر پایه لیتیوم هستند. برای مثال باتری های یون-لیتیوم. نوع دوم باتری های بر پایه هیدریدهای فلزی هستند. محققان ثابت کرده اند که استفاده از نانولوله ها در این دو نوع باتری باعث افزایش چشمگیری در طول عمر، دانسته جریان و سرعت شارژ شدن آن ها شده است. نانولوله ها به عنوان جایگزینی مناسب برای گرافیت معمولی در ساختار الکترودها گرافیت-لیتیوم در نظر گرفته شده اند. به دلیل کوچک بودن ساختار نانولوله سطح مفید تماس آن ها با لیتیوم بیشتر از گرانیات معمولی است به طوری که ظرفیت یک لایه نانولوله در آزمایشگاه به ۶۴۰ آمپر ساعت به کیلوگرم رسیده است. با استفاده از فناوری نانو در ساخت باتری ها در ابتدا میزان شارژ مجدد آن ها ۱۰ برابر شد که اکنون با توسعه این فناوری باتری های کنونی تا ۱۰۰ برابر باتری های قبلی (بدون استفاده از فناوری نانو) قابلیت شارژ مجدد را دارند.

البته باتری های قابل شارژ بازاری پیرا دارد. مثل بازار روبه رشد تأمین انرژی وسایل الکترونیکی قابل حمل. در یک دهه گذشته اگرچه فناوری ساخت باتری در سه گروه نیکل-هیدرید فلزی، یون-لیتیوم و لیتیوم-پلیمر رشد چشمگیری را تجربه کرده اما هنوز نیاز صنایع را به طور کامل برآورده نساخته است. مواد سازنده باتری کلید توسعه آن بوده و اکنون با ورود فناوری نانو به این عرصه شاهد نسل جدیدی از این باتری ها هستیم. به دلیل دانسته انرژی بالا و ساختار انعطاف پذیر باتری های بر پایه لیتیوم، این باتری ها ۶۳ درصد از سهم فروش بازار را در اختیار خود داشته اند. البته با توجه به اینکه در یک گزارش مجزا به باتری های لیتیومی و فناوری نانو پرداخته خواهد شد، لذا در این گزارش به انواع دیگر باتری قابل شارژ پرداخته خواهد شد [۹].

کاربردهای فناوری نانو در باتری خورشیدی را می توان به صورت استفاده از مواد نانو در ساختار الکترودها، کاتد و کاتالیست های باتری قابل شارژ بیان کرد:

#### ■ استفاده از نانوفیبرهای پلی آنیلین به عنوان کاتد در باتری قابل شارژ روی-پلی آنیلین

پلی آنیلین با ساختار نانوفیبر به روش نرمال پالس ولتاژمتری سنتز و به عنوان کاتد در باتری قابل شارژ روی-پلی آنیلین مورد استفاده قرار گرفته است. در سنتز پلیمر با ساختار نانوفیبر ابتدا شرایط سنتز پلیمر بهینه می شود. برای این منظور تأثیر عواملی چون میزان افزایش ارتفاع پالس ها، پهنای پالس ها روی ساختار و خصوصیات الکتروشیمیایی پلیمر و ظرفیت شارژ/دشارژ مورد بررسی قرار گرفته است. نانوفیبرهای پلی آنیلین سنتز شده به عنوان کاتد در باتری های قابل شارژ روی-پلی نیلین مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل افزایش سطح مؤثر پلیمر سنتز شده با ساختار نانوفیبر

در مقایسه با باتری هایی که در آن ها از پلیمری با ساختار معمولی استفاده شده است، کارایی این باتری ها افزایش پیدا می کند به طوری که این باتری با ظرفیت دشارژ<sup>-۱</sup> ۲۳۵ Ah/kg و انرژی ویژه<sup>-۱</sup> ۲۸۷ Ah/kg را از خود نشان می دهند و در محدوده وسیعی از چگالی جریان  $3/6 - 5/0 \text{ mAcm}^{-2}$  کارایی کولمبی به بازه ۹۷-۱۰۰ درصد می رسد [۱۱]. پارامترهای الکتروشیمیایی مورد نظر برای باتری قابل شارژ روی-پلی آنیلین در جدول ۲ ارائه شده است.

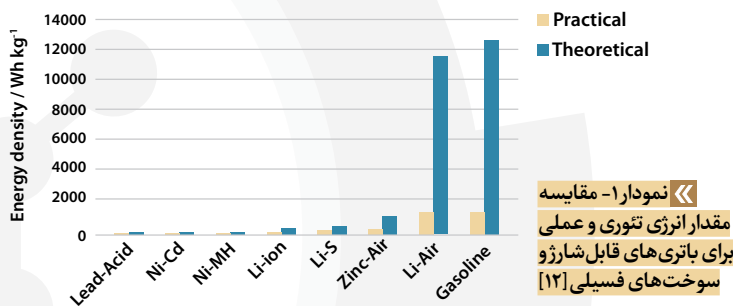
جدول ۲- پارامترهای الکتروشیمیایی برای باتری قابل شارژ روی-پلی آنیلین [۱۱]

| روش سنتز پلیمر |         | پارامترها                               |
|----------------|---------|-----------------------------------------|
| CV             | NPV     | ولتاژ مدار باز (V)                      |
| ۱٫۴            | ۱٫۵۵    | تعداد چرخه های قابل شارژ                |
| ۲۵۰            | ۱۲۰     | ظرفیت دشارژ (Ah/Kg)                     |
| ۱۱۲٫۱          | ۲۳۵٫۶   | محدوده چگالی جریان ( $\text{mA/cm}^2$ ) |
| ۰٫۳-۰٫۹        | ۰٫۳-۰٫۶ |                                         |

همان گونه که در این جدول مشاهده می شود، باتری ای که کاتد آن نانوفیبرهای پلی آنیلین سنتز شده با روش نرمال پالس ولتامتری (NPV) است، ظرفیت دشارژ بزرگتری دارد. همچنین در محدوده چگالی جریان  $5/6 - 3/0 \text{ mA/cm}^2$ ، کارایی کولمبی ۹۷-۱۰۰ درصد است که این در مقایسه با باتری ای که در آن کاتد فیلم پلی آنیلین سنتز شده با روش ولتامتری چرخه ای (CV) قرار دارد، وسیع تر است. ظرفیت دشارژ باتری های روی-پلی آنیلین با روش های CV و NPV، بعد از ۲۵۰ و ۱۲۰ چرخه به ۶۰ درصد ظرفیت اولیه می رسد. ظرفیت بالاتر باتری روی-پلی آنیلین که در آن پلی آنیلین با روش NPV سنتز شده مربوط به ساختار متخلخل و ناحیه سطحی بیشتر نانوفیبرهای پلی آنیلین است.

#### ■ استفاده از کربن با ساختار نانومتخلخل به عنوان الکترود باتری قابل شارژ لیتیم-هوا

باتری های قابل شارژ باتری لیتیم-هوا عملکرد خوب و آینده روشنی را برای دستگاه های ذخیره انرژی قابل حمل نشان می دهد. نمودار ۱ مقدار انرژی تئوری و عملی برای باتری های قابل شارژ و سوخت های فسیلی و مقایسه بین آن ها را به خوبی نشان می دهد.



نسبت حجمی فضای خالی ماده متخلخل به حجم کل ماده، تخلخل<sup>۸</sup> نامیده می‌شود. اتحادیه جهانی شیمی محض و کاربردی (IUPAC)<sup>۹</sup> مواد نانومتخلخل را براساس اندازه حفره به صورت زیر نام‌گذاری کرده است:

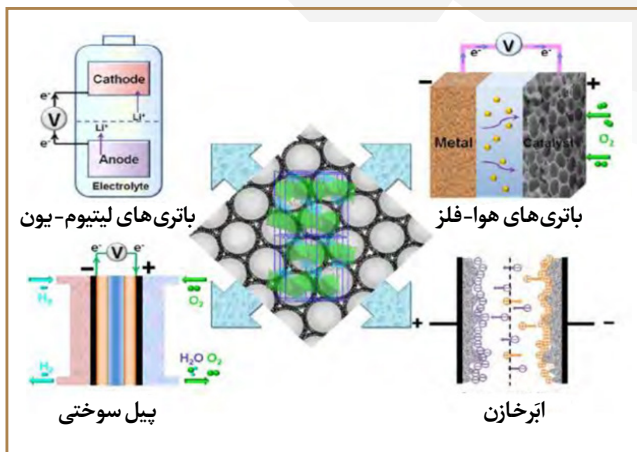
■ میکرومتخلخل<sup>۱۰</sup>: دارای حفره‌هایی با قطر کمتر از ۲ نانومتر

■ مزومتخلخل<sup>۱۱</sup>: دارای حفره‌هایی با قطر ۲ تا ۵۰ نانومتر

■ ماکرومتخلخل<sup>۱۲</sup>: دارای حفره‌هایی با قطر بیشتر از ۵۰ نانومتر

مواد نانومتخلخل دارای حفره‌هایی در ابعاد نانو هستند و حجم زیادی از ساختار آن‌ها را فضای خالی تشکیل می‌دهد. نسبت سطح به حجم (سطح ویژه) بسیار بالا، نفوذپذیری یا تراوایی<sup>۱۳</sup> زیاد، گزینش‌پذیری خوب و مقاومت گرمایی و صوتی از ویژگی‌های مهم آن‌ها است. با توجه به ویژگی‌های ساختاری، این مواد به عنوان تبادل‌گر یونی<sup>۱۴</sup>، جداکننده<sup>۱۵</sup>، کاتالیزور، حسگر، غشا و مواد عایق استفاده می‌شوند.

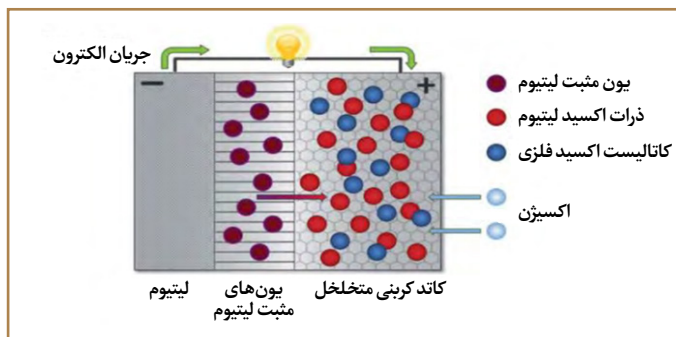
چالش‌های اصلی در پژوهش‌های مواد نانومتخلخل از جمله مواد کربنی نانومتخلخل‌های ساختار، شامل فهم ویژگی‌های ساختار و بهینه کردن طراحی آن‌ها برای کاربردهای مختلف است. این مواد کاربردهای بسیار گسترده و ارزشمندی دارند (شکل ۷).



شکل ۷- نمایش کاربرد کربن‌های حفره‌دار در زمینه‌های مختلف تبدیل و ذخیره انرژی [۱۲]

باتری‌های لیتیوم-اکسیژن منابع جدیدی برای تولید الکتریسیته هستند که در آن‌ها از اکسیژن موجود در جو که درون الکترودهای کربنی متخلخل به دام افتاده برای تولید انرژی استفاده می‌شود. این باتری‌ها بسیار سبک‌تر از باتری لیتیوم معمولی هستند، بنابراین برای استفاده در حوزه‌های مختلف نظیر خودروهای برقی بسیار ایده‌آل هستند. با این حال هنوز چالش‌های متعددی در مسیر استفاده از این باتری‌ها وجود دارد برای مثال تولید پراکسید لیتیوم نامحلول یکی از محصولات جانبی ناخواسته در طول کارکرد این باتری است. پراکسید لیتیوم در الکترود کربنی تولید شده و موجب متوقف شدن فعالیت باتری می‌شود. این اتفاق بعد از چند بار شارژ/دشارژ رخ می‌دهد.

اخیراً باتری های لیتیوم-هوا به عنوان امیدوارکننده ترین نامزد برای خودروهای الکتریکی پیشنهاد شده اند. چون چگالی انرژی آن ها ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از باتری های یون-لیتیوم موجود است. نمای کلی این باتری در شکل ۸ نمایش داده شده است. چگالی انرژی ویژه تئوری برای باتری لیتیوم-هوا برابر  $5200 \text{ Wh/kg}$  است (درحالی که برای باتری یون لیتیوم  $150 \text{ Wh/kg}$  است) [۱۳].



شکل ۸- نمای کلی باتری لیتیوم-هوا [۱۳]

برخی مزایای کربن های نانومتخلخل برای الکترود هوا برای باتری لیتیوم-هوا شامل موارد زیر است [۱۴]:  
 □ الکترولیت مایع درون ساختار حفرات از طریق کانال ها نفوذ می کند و این کانال ها سرعت انتقال یون های لیتیوم را بهبود می بخشد. این کانال ها همچنین از تغییر حجم در اثر فرایند شارژ-دشارژ جلوگیری می کنند و استحکام ساختاری را افزایش می دهند.

□ کربن های نانومتخلخل باعث افزایش رسانایی الکتریکی و یونی می شوند و مقاومت داخلی باتری لیتیوم-هوا را کاهش می دهند و بنابراین عملکرد خوبی را می گذارند.

□ کربن های نانومتخلخل باعث افزایش سطح تماس الکترود با الکترولیت می شوند و بنابراین طول مسیر یون های لیتیوم را کاهش می دهند. همچنین سرعت نفوذ یون های لیتیوم و الکترون را افزایش می دهند و بنابراین عملکرد الکترود شیمیایی خوبی را بر جای خواهند گذاشت.

#### ■ فرآوری نانو پودر اکسید سرب فوق ریز جهت کاربرد در باتری های اسیدی

یکی از نانوذرات اکسیدی که امروزه مورد توجه قرار گرفته، نانوذرات اکسید سرب است که دارای خواص نوری، ذخیره انرژی و کاتالیزوری منحصربه فرد و متفاوت از خواص متناظر ذرات فلزی است. خواص این نوع اکسید به اندازه ذرات، شکل آن ها و ترکیب درصد هر یک از عناصر در ساختار اکسید و سینتیک فرایند تولید بستگی دارد [۱۵]. روش سونوشیمیایی برای فرآوری نانومواد با توجه به آسان بودن یکی از مطلوب ترین روش های فرآوری نانو ذرات اکسید سرب است که در عین سادگی روش، بهترین و مطلوب ترین نتیجه را خواهد داشت. نتایج مطلوب به دست آمده مربوط به اندازه، مورفولوژی، فاز و ساختار مواد فرآوری شده است. اندازه کریستال در آن حدود  $6 \text{ nm}$  تا  $11 \text{ nm}$  و سایز این ذرات با توجه به میانگین اندازه ذرات  $20 \text{ nm}$  -  $7 \text{ nm}$  است که آن ها را در زمره ذرات اکسید سرب

فوق‌ریز که قطر ذرات در آن‌ها کمتر از ۵۰ nm است قرار می‌دهد. فازهای به دست آمده از فناوری انجام شده از پرکاربردترین و مهم‌ترین فازهای اکسید سرب هستند [۱۶].

### محصولات صنعتی

در کشور ایران، چندین پژوهش تحقیقاتی در زمینه باتری‌های قابل شارژ انجام شده و مقالاتی در این زمینه انتشار یافته است و محصول تجاری در زمینه باتری‌های قابل شارژ توسط شرکت تولیدی مواد شیمیایی نانو شیمی نوین ایرانیان تحت عنوان اکسپندر باتری تولید شده است. این محصول به عنوان اکسپندر باتری سرب-اسید حاوی نانو ذرات معرفی می‌شود [۱۷].



شکل ۹- اکسپندر باتری سرب-اسید حاوی نانو ذرات [۱۷]

باتری خودرو یک باتری قابل شارژ است که جریان الکتریکی را برای یک وسیله نقلیه موتوری تأمین می‌کند. در طول سال‌هایی که محققان عملکرد باتری را بهینه کرده‌اند، دغدغه اصلی کار با باتری تأمین نیرو، تماس پیوسته و برهم‌کنش واکنشگرها با مواد الکتروود و الکترولیت می‌باشد. این امر به تأمین مقدار کافی اسید، مواد فعال با مساحت سطحی بالا، تماس خوب بین ذرات مواد فعال (به‌طور ویژه در ورقه‌های مثبت که تمایل به انبساط در طول چرخه شارژ-دشارژ دارند) و به حداقل رساندن اثرات عایق  $PbSO_4$  نیازمند است. مهم‌ترین دغدغه، محدودیت باتری سرب-اسید است که به واسطه واکنش پایه بین الکتروودهای مثبت و منفی اتفاق می‌افتد و مانع انتقال سریع الکترون می‌شود. نانو ذرات به دلیل مساحت سطحی زیاد و در نتیجه مساحت تماس بالاتر الکتروود/الکترولیت، میزان بالاتری از شارژ/دشارژ را نشان داده و مسیر کوتاهی برای انتقال سریع بار ایجاد می‌کنند. این محصول به‌طور قابل توجهی بهبود در پارامترهای کیفی را در مقایسه با اکسپندرهای مرسوم نشان می‌دهد.

در جهان چندین شرکت محصولاتی مرتبط با باتری قابل شارژ تولید کرده‌اند که در ساخت آن‌ها از فناوری نانو استفاده شده است، در جدول ۳ به معرفی برخی از این محصولات پرداخته شده است.

جدول ۳- نمونه‌ای از محصولات صنعتی در جهان

| شرکت                          | نام محصول                                                                    | تصویر محصول                                                                       |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| [۱۸] Zavod AIT                | Non-maintenance alkaline nickel-cadmium cells of KGL type and blocks of them |  |
| Sinlion Battery [۱۹] Tech, Co | Power battery system for electric bus                                        |  |
| Envia systems [۲۰]            | Battery                                                                      |  |
| A123 Systems [۲۱]             | Battery                                                                      |  |

## خلاصه مدیریتی

اصلی‌ترین راه ذخیره انرژی الکتریکی استفاده از باتری است و باتری ثانویه نوعی از باتری است که قابلیت شارژ و استفاده مجدد را دارا است. توسعه فناوری نانو درهای جدید بسیاری را در زمینه علوم مواد و مهندسی گشوده است. این فناوری محققان را برای دست‌کاری و ساخت مواد در مقیاس نانومتر قادر ساخته و اجازه می‌دهد تا خواص انواع مواد را بهبود بخشند. با کمک فناوری نانومی توان نسل جدید باتری‌های قابل شارژ را تولید کرد و پارامترهای اساسی و چالش‌ها نظیر هزینه، عمر مفید، دمای کاری و میزان دانسیته انرژی را بهینه‌سازی کرد. در این گزارش به چندین نمونه استفاده از این فناوری نظیر استفاده از نانوفیبرهای پلی‌آنیلین به عنوان کاتد در باتری قابل شارژ روی-پلی‌آنیلین، استفاده از کربن با ساختار نانومتخلخل به عنوان الکترود باتری قابل شارژ لیتیوم-هوا و فناوری نانو پودر اکسید سرب فوق ریز برای کاربرد در باتری‌های اسیدی اشاره و بهبود عملکرد این باتری‌ها به کمک فناوری نانو بیان شده است.

### پی‌نوشت‌ها

- |                                     |                                                             |                  |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|
| ۱ Plante                            | ۶ Nickel-Cadmium                                            | ۱۰ Microporous   |
| ۲ UPS                               | ۷ Nickel-Metal Hydride                                      | ۱۱ Mesoporous    |
| ۳ Sealed Lead Acid Battery          | ۸ Porosity                                                  | ۱۲ Macroporous   |
| ۴ Gel-cell                          | ۹ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) | ۱۳ Permeability  |
| ۵ Valve Regulated Lead Acid Battery |                                                             | ۱۴ Ion Exchanger |
|                                     |                                                             | ۱۵ Separator     |

## مراجع

- ۱ Linden, D., Ed. Handbook of Batteries, 2nd Ed; McGraw-Hill: New York, 1995; 3rd ed.; McGraw-Hill: New York, 2001
- ۲ <https://automationforum.co/working-principle-of-lead-acid-cell>
- ۳ <https://www.parts-express.com/c-nicd-cell-battery-with-tabs-3000mah--140-194>
- ۴ [http://global.kawasaki.com/en/energy/solutions/battery\\_energy/about\\_gigacell/structure.html](http://global.kawasaki.com/en/energy/solutions/battery_energy/about_gigacell/structure.html)
- ۵ Metal-air batteries: from oxygen reduction electrochemistry to cathode catalysts, Key Laboratory of Advanced Energy Materials Chemistry (Ministry of Education), Chemistry College, Nankai University,, Chemical Society Reviews, issue 6,2012.
- ۶ J. M. Tarascon and M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries," Nature, vol. 414, pp. 359-367, 2001.
- ۷ <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/li-ion-battery-diagram-vector-16286345>
- ۸ ماهنامه دنیای مخابرات و ارتباطات، شماره ۹۹، باتری‌های قابل شارژ، شروین هادی‌نژاد، آذر ۱۳۹۱.
- ۹ J. M. Tarascon and M. Armand, "Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries," Nature, vol. 414, pp. 359-367, 2001.
- ۱۰ Ghanbari, Kh., Mousavi, M. F., Shamsipur, M., "Preparation of polyaniline nanofibers and their use as a cathode of aqueous rechargeable batteries" Electrochim. Acta, 52,1514-22,2006.
- ۱۱ Preparation of polyaniline nanofibers and their use as a cathode of aqueous rechargeable batteries, ۱۳۸۶، دومین همایش دانشجویی فناوری نانو،
- ۱۲ Zhang SS, Foster D, Read J (2010) Discharge characteristic of a non-aqueous electrolyte Li/O<sub>2</sub> battery. J Power Sources 195(4): 1235–1240.
- ۱۳ Xiao J, Mei D, Li X, Xu W, Wang D, Graff GL, Bennett WD, Nie Z, Saraf LV, Aksay IA (2011) Hierarchically porous graphene as a lithium–air battery electrode. Nano Lett 11(11): 5071–5078.
- ۱۴ Y.F Song, X.Wang, B.Wang, B.HU, H.SHU, X.K.Yang, "Preparation and performance of hierarchically porous carbons as oxygen electrodes for lithium oxygen batteries" Trans. Nonferrous Met. Soc. China 23(2013) 3690.
- ۱۵ Soltanzadeh N, Morsali A. J Coord Chem 2009;62:2869–74.
- ۱۶ کاظم‌زاده، سیدمحمد؛ امیرحسن‌جانی روشن؛ محمدرضا واعظی و اصغر کاظم‌زاده، ۱۳۹۲، فناوری نانوپودر اکسید سرب فوق‌ریز جهت کاربرد در باتری‌های اسیدی، اولین همایش ملی کاربردهای فناوری نانو در صنعت، معدن، کشاورزی و پزشکی
- ۱۷ <http://nanoproduct.ir/product/3323>
- ۱۸ <https://product.statnano.com/product/9384>
- ۱۹ <https://product.statnano.com/product/7999>
- ۲۰ <https://product.statnano.com/product/5372>
- ۲۱ <https://product.statnano.com/product/4925>